

BAB III

METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan metode penelitian yang digunakan, diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, dan prosedur penelitian yang dilaksanakan.

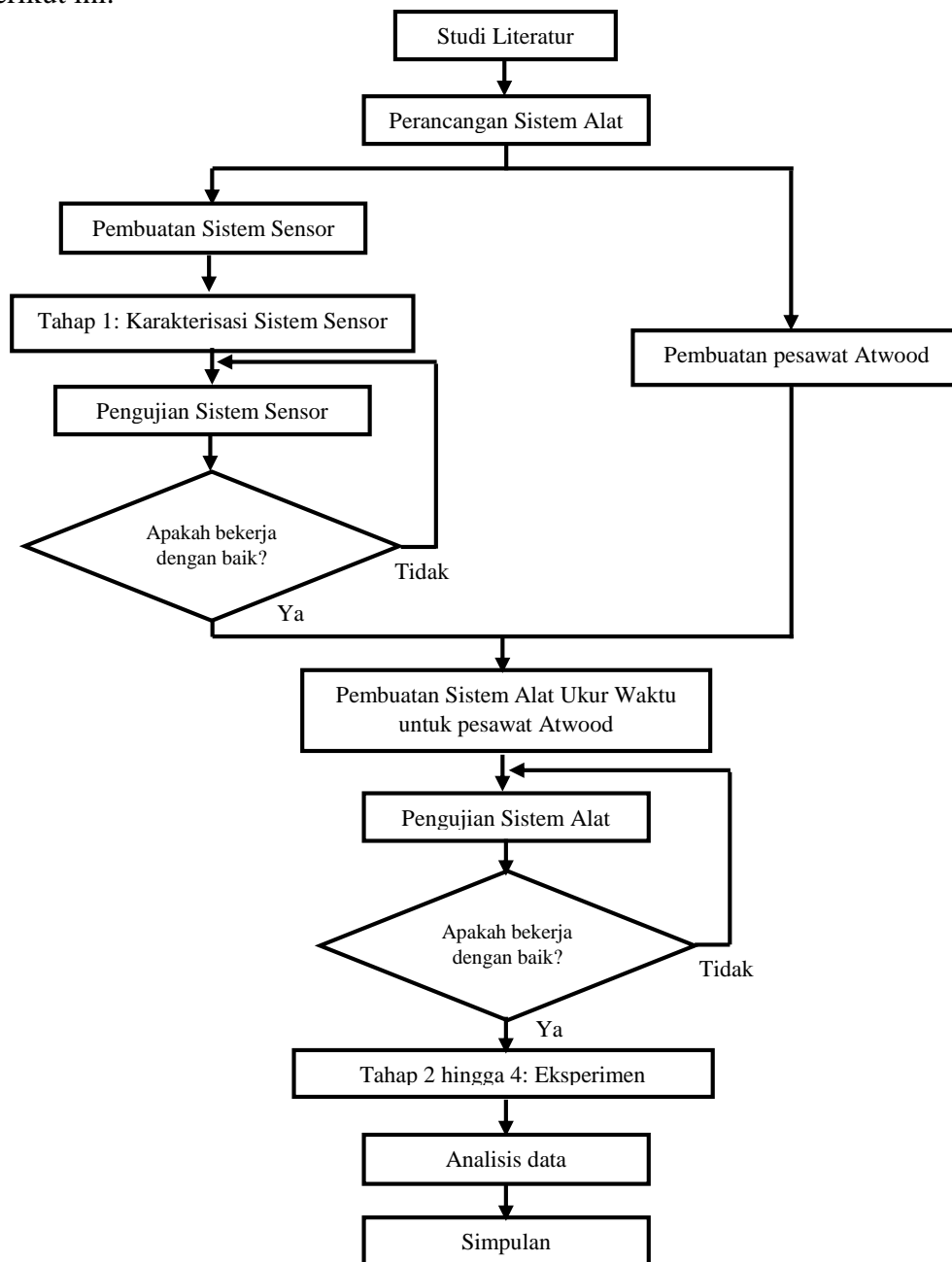
3.1. Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan melalui 4 tahapan, yaitu sebagai berikut.

- 1) Tahap 1 meliputi pengujian untuk karakterisasi respon ketiga sensor RPR-220 terhadap jarak pada penghalang warna hitam dan putih. Tujuan dari pengujian tersebut adalah untuk mengetahui respon sensor yang akan digunakan dalam penelitian.
- 2) Tahap 2 meliputi pengukuran waktu beban jatuh pada mode 1 (titik tempuh beban dari C ke A) dan mode 2 (titik tempuh beban dari A ke B) dari sistem alat yang telah dibuat. Karena massa beban di kedua ujung tali yang melewati katrol pesawat Atwood relatif sama, maka diberikan beban tambahan m_1 untuk salah satu beban. Tujuan dari eksperimen ini adalah untuk mengamati percepatan yang dihasilkan di mode 1 dan mode 2.
- 3) Tahap 3 dilakukan seperti tahap 2. Perbedaannya adalah beban tambahannya ditambah m_2 sehingga total beban tambahan yang dipasang pada salah satu beban pesawat Atwood adalah $m_1 + m_2$. Tujuan dari eksperimen ini adalah untuk membandingkan hasil percepatan eksperimen pada tahap 2 dengan 3.
- 4) Tahap 4 meliputi pengukuran waktu beban jatuh dengan sistem alat dan pengukuran waktu dengan *stopwatch* secara manual. Eksperimen pada tahap ini dilakukan pada dua kondisi massa beban tambahan yang berbeda. Dua kondisi tersebut adalah massa beban tambahannya m_3 dan $m_3 + m_4$. Tujuan dari eksperimen ini adalah untuk membandingkan pengukuran otomatis menggunakan sistem alat yang telah dibangun dengan pengukuran manual menggunakan *stopwatch*.

3.2. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir yang dilakukan untuk penelitian dapat ditunjukkan pada gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada gambar 3.1 menunjukkan diagram alir dari penelitian yang dilakukan. Pengujian sensor dilakukan untuk mengetahui karakteristik sensor. Dalam hal ini, karakteristik sensor yang dicari adalah respon sensor terhadap jarak pada

penghalang datar warna hitam dan putih. Selanjutnya pengujian sistem alat yang sudah disatukan dengan pesawat Atwood. Sistem alat yang dibuat bersifat portabel, sehingga bisa dilepas dan disimpan dimana pun. Pengujian sistem alat berhasil jika pengukuran waktu jatuh beban untuk mode 1 dan 2 dapat dilakukan dan pengukuran nilai waktunya mendekati pengukuran nilai waktu yang dilakukan secara manual.

3.3. Alat, Bahan, dan Software

Berikut alat dan bahan yang digunakan dalam proses penelitian yang ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1

Alat dan bahan yang digunakan selama penelitian

No	Nama Alat dan Bahan	Jumlah
1.	Pesawat Atwood	1 buah
2.	Beban gantung (M_1 dan M_2)	2 buah
3.	Beban tambahan (m_1 , m_2 , m_3 , dan m_4)	4 buah
4.	Tali kasur	1 gulungan
5.	Sensor <i>Line Tracking</i> RPR-220	3 buah
6.	Mikrokontroler Arduino Uno	1 buah
7.	Kabel USB Arduino	1 buah
8.	Modul LCD <i>Shield</i>	1 buah
9.	Laptop	1 buah
10.	Papan PCB	1 buah
11.	Neraca Ohaus	1 buah
12.	Multimeter Digital	1 buah
13.	<i>Waterpass</i>	1 buah
14.	Resistor 68k Ohm	2 buah
15.	Resistor 180 Ohm	2 buah
16.	Resistor 33k Ohm	2 buah
17.	Resistor 120 Ohm	1 buah
18.	Resistor 18 Ohm	1 buah
19.	<i>Stopwatch</i> HP	1 buah

Selanjutnya adalah *software* yang digunakan dalam penelitian. Berikut daftar *software-software* ditunjukkan dalam tabel 3.2.

Tabel 3.2
Software yang digunakan selama penelitian

No	Nama Software
1.	Arduino IDE
2.	Microsoft Excel
3.	Origin50

Software Arduino IDE digunakan untuk membuat program karakterisasi sistem sensor dan sistem alat ukur waktu otomatis yang dibangun. Microsoft Excel dan Origin50 digunakan untuk pengolahan data eksperimen.

3.4. Prosedur Penelitian

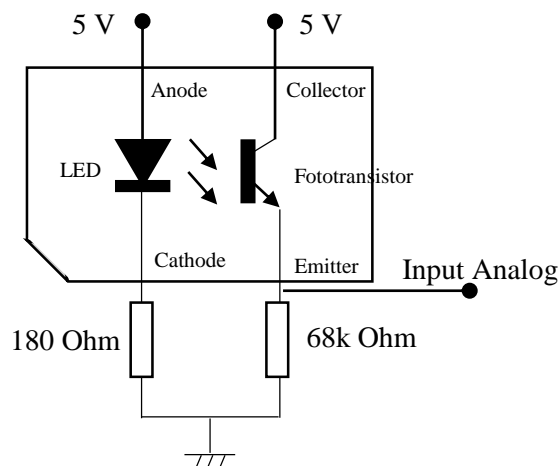
Prosedur penelitian merupakan langkah-langkah yang dilakukan selama penelitian. Prosedur penelitian dapat ditunjukkan dengan diagram alir pada gambar 3.1. Berikut ini adalah penjelasan prosedur penelitian.

3.4.1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengkajian mengenai sistem alat yang akan dibuat. Materi-materi yang perlu dipahami adalah mengenai konsep kinematika, prinsip pesawat Atwood, komponen-komponen yang terdapat pada sistem alat tersebut, pemahaman akan bahasa pemrograman yang akan digunakan dalam mikrokontroler, dan lain-lain.

3.4.2. Perancangan dan Pembuatan Sistem Alat

Pada tahap ini dilakukan perancangan sistem alat yang dibangun. Perancangan sistem alat meliputi pembuatan sistem sensor dan pesawat Atwood. Pembuatan sistem sensor dapat dilakukan setelah mempelajari spesifikasi sensor RPR-220. Sistem sensor yang dibangun untuk sistem alat berjumlah 3 buah. Berikut rangkaian sistem sensor yang ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Rangkaian Sistem Sensor dari sudut pandang atas

Gambar 3.2 menunjukkan rangkaian sistem sensor yang dibuat. Namun karena ketersediaan resistor kurang, maka dikumpulkan beberapa resistor yang jika rangkaiannya dijumlahkan akan mendekati nilai resistor yang diinginkan. Sensor RPR-220 mempunyai 4 kaki yang terdiri dari pin *collector*, *emitter*, *anode*, *cathode*. Kaki pin *collector* lebih pendek dibandingkan dengan pin *emitter*. Sedangkan kaki pin *anode* lebih Panjang dibandingkan dengan pin *cathode*.

Dari gambar 3.2, fototransistor terletak di sisi kiri dan LED cahaya inframerahnya terletak di sisi kanan. Secara teori, fungsi fototransistor adalah untuk mengumpulkan cahaya inframerah LED yang berhasil dipantulkan oleh suatu objek. Dalam *datasheet* sensor RPR-220, batas maksimum arus pada LED sensor adalah 50 mA. Jika tegangan volt yang diberikan pada LED sebesar 5 V, maka berdasarkan hukum Ohm LED sensor membutuhkan 100 Ohm atau lebih. Jika resistornya kurang dari 100 Ohm, maka arus yang mengalir pada LED akan lebih besar dari 50 mA dan kalau dibiarkan sensor akan menjadi rusak. Untuk menghindari masalah tersebut, resistor yang dipilih harus lebih besar dari 100 Ohm. Hindari pula pemakaian resistor tepat di 100 Ohm karena belum tentu besaran Ohm resistor tersebut sesuai dengan spesifikasinya.

Selanjutnya untuk fototransistor sensor. Fototransistor pada sensor tersebut prinsipnya sama dengan transistor jenis NPN. Namun basis pada fototransistor dapat mendeteksi cahaya dan energi cahaya yang dikumpulkan dapat berubah menjadi sinyal listrik (Fraden, 2003). Dari *datasheet*, karakteristik transfer arus

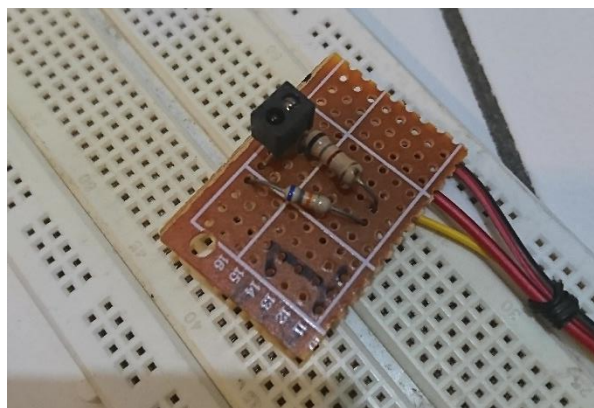
collector batas maksimumnya adalah 0,8 mA. Secara teori Ohm, resistor yang diperlukan sebesar 6250 Ohm. Namun reflektivitas target tidak akan bisa memantulkan 100% cahaya kembali ke sensor, sehingga arus fototransistor tidak akan pernah mencapai 0,8 mA. Pada gambar 3.2, jika rangkaian fototransistor diberikan resistor yang besar, maka berdasarkan hukum Ohm tegangan *input* analog juga akan lebih besar pula. Saat tegangan *input* analog bisa mencapai nilai yang lebih besar, jangkauan sensor terhadap jarak benda juga akan bertambah karena sensitivitas sensor bertambah. Sehingga kesimpulannya jika semakin besar resistor yang diberikan untuk fototransistor, semakin besar pula jangkauan sensor terhadap jarak dengan suatu objeknya. Maka resistor 6250 Ohm dikalikan 10 untuk 10 kali penguatan. Resistor 68k Ohm dipilih karena mendekati nilai 62k Ohm. Berikut spesifikasi rangkaian sistem untuk 3 sensor RPR-220 berdasarkan kakinya yang ditunjukkan pada tabel 3.3.

Tabel 3.3

Spesifikasi rangkaian sistem untuk 3 sensor RPR-220

Nama	<i>Collector</i>	<i>Emitter</i>	<i>Anode</i>	<i>Cathode</i>
Sensor 1		68k Ohm - GND		180 Ohm
Sensor 2	5 V	66k Ohm (33k Ohm x 2) – GND	5 V	180 Ohm
Sensor 3		68k Ohm – GND		138 Ohm (120+18 Ohm)

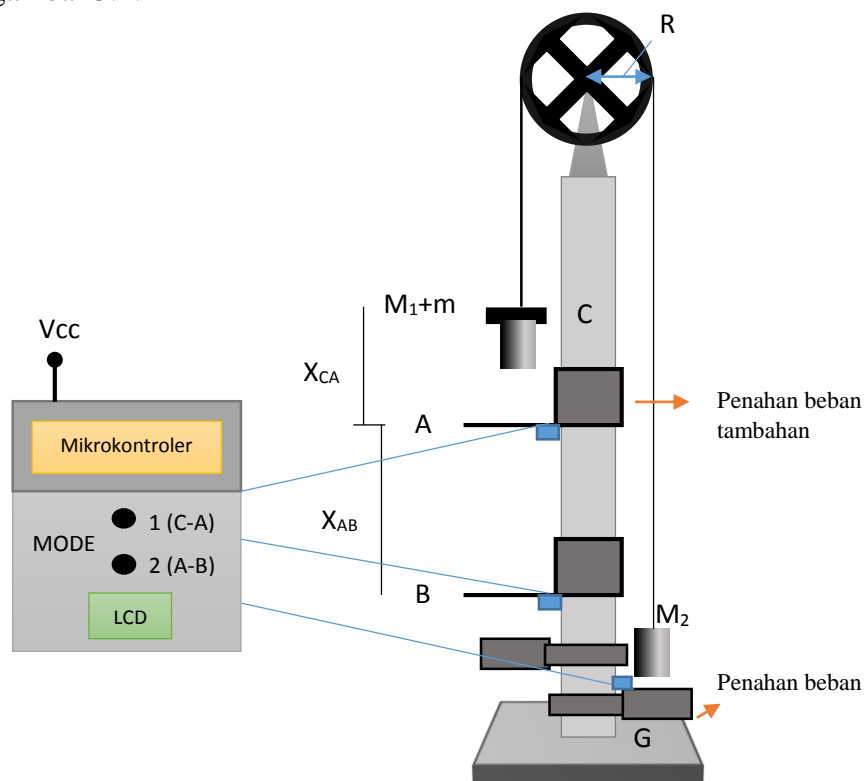
Karena keterbatasan tersedianya resistor, maka dikumpulkan beberapa resistor yang jika dijumlahkan mendekati nilai Ohm yang diinginkan. Salah satu contoh sistem sensor yang telah dibuat ada pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Rangkaian sistem sensor 1

Selanjutnya adalah pembuatan pesawat Atwood. Pesawat Atwood yang digunakan dalam penelitian terdiri dari tiang yang tingginya 2 meter, di ujung atasnya terdapat katrol yang berdiameter 21,4 cm, dan di bawahnya terdapat penahan tiang berbentuk segi empat. Selain itu, tiang pesawat Atwood terdapat 2 penahan beban gantung dan 2 penahan beban tambahan.

Perancangan sistem alat ukur waktu untuk pesawat Atwood yang dibangun ada pada gambar 3.4.



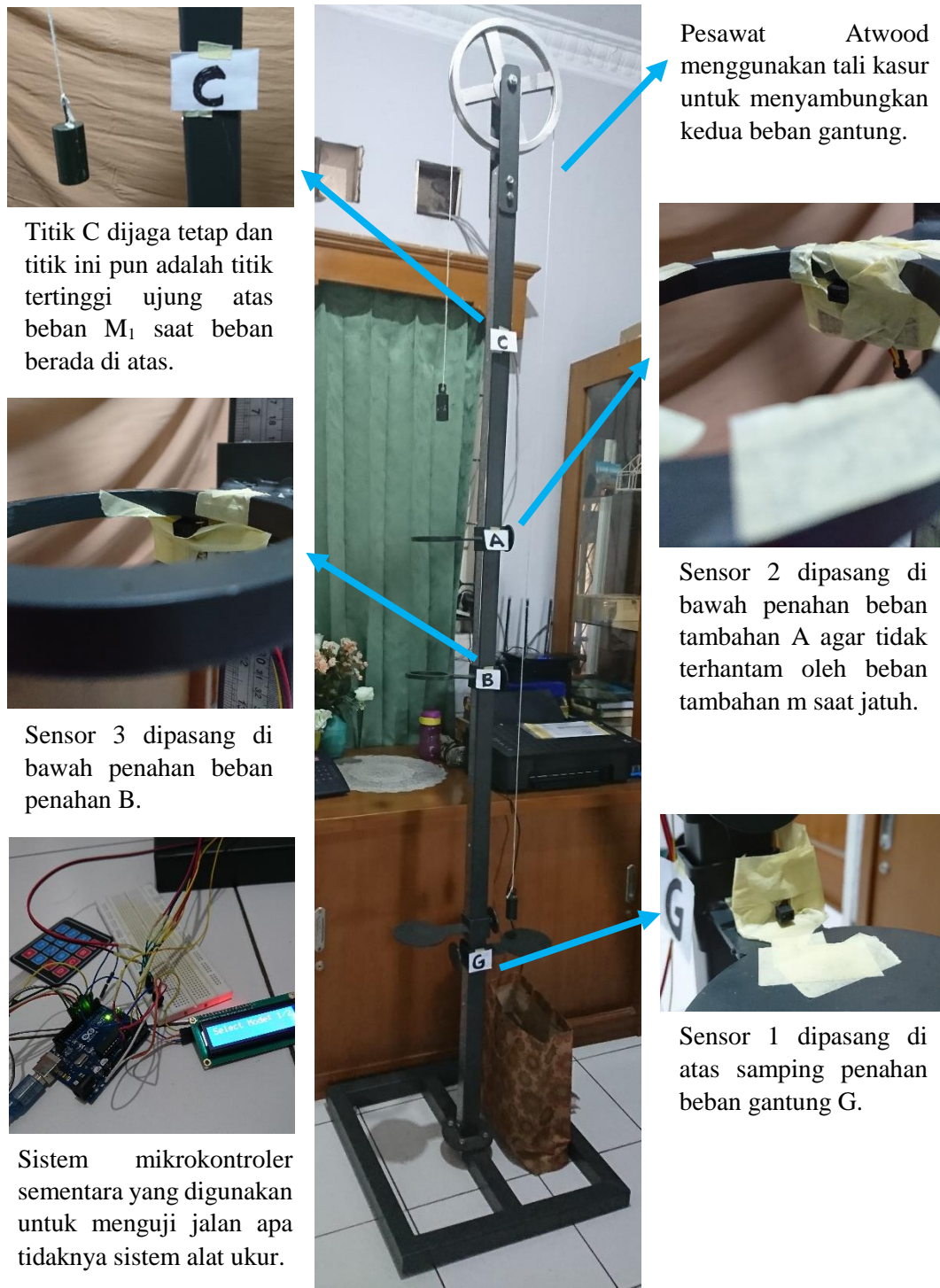
Gambar 3.4 Rancangan Sistem Alat Ukur Waktu Otomatis Pesawat Atwood

Perancangan sistem alat pada gambar 3.4 mengikuti atas dasar penelitian yang dilakukan oleh Saraswati dan Putri (2018) dan modul-modul eksperimen pesawat Atwood. Penahan beban G untuk menyimpan beban M_2 dan tempat sensor 1 berada. Setelah itu ada penahan beban tambahan A yang berlubang agar beban tambahan dapat tertahan. Selain A, terdapat penahan beban tambahan B. Keduanya dibuat berlubang agar beban M_1 dapat melewatinya. Penahan beban A dan B nantinya bisa dipindah posisi ke atas atau ke bawah. Sensor *Line Tracking* dipasang pada titik G, A, dan B. Kotak sistem pengukuran waktu otomatis terdapat mikrokontroler untuk pengolah data sensor, dua tombol untuk pemilihan mode 1 atau 2 (GLBB atau

GLB), adapter *charger* untuk menyambungkan kabel USB mikrokontroler ke stop kontak (jika tanpa menggunakan laptop), dan modul LCD untuk menampilkan hasil waktu yang didapat.

Mulanya M_1 dan M_2 yang mempunyai massa relatif sama akan dihubungkan dengan tali yang melewati katrol. Pada mode 1 (C-A), pengukuran waktu dimulai saat sensor 1 sudah tidak mendeteksi adanya beban M_2 dan berhenti saat beban sampai di sensor titik A (sensor 2). Beban M_2 ditempatkan di penahan G dan sensor 1 akan mendeteksi adanya beban tersebut. Beban yang diberi pemberat ($M_1 + m$) akan dijatuhkan di titik tertentu atau jika melihat gambar 3.4, titik C. Dengan begitu, beban $M_1 + m_1$ akan jatuh ke bawah dan menarik beban M_2 yang mulanya diam ke atas. Sehingga meninggalkan sensor 1 dan sensor tersebut mendeteksi tidak adanya benda. Sensor 1 akan memberi sinyal ke sistem pengaturan untuk memulai pengukuran waktu. Saat M_1 sudah melewati titik A, sensor 2 akan mendeteksi beban dan memberhentikan pengukuran.

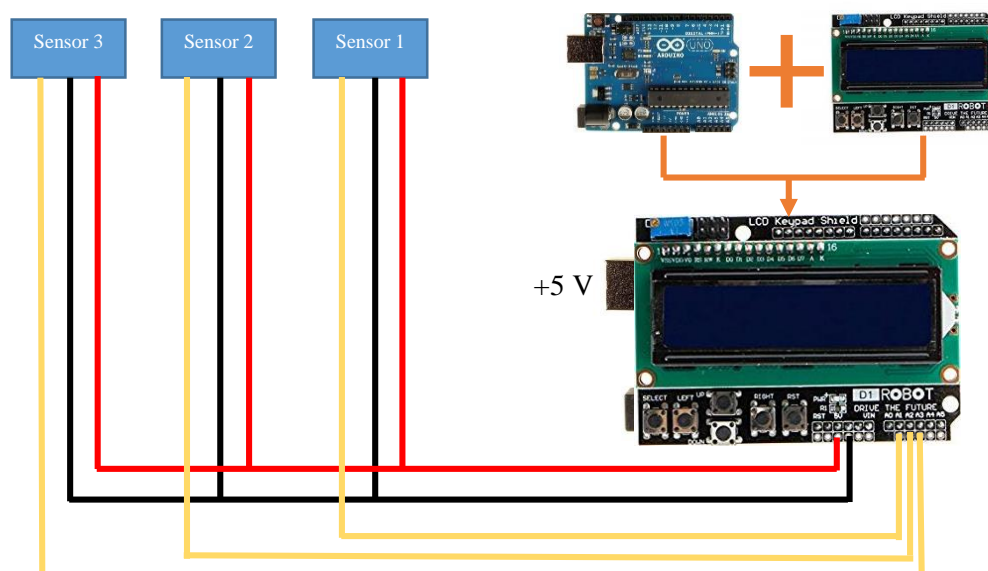
Sedangkan pada mode 2 (A-B), pengukuran waktu dimulai saat beban terdeteksi di sensor A dan berhenti saat beban sampai di sensor B (sensor 3). Jadi saat beban $M_1 + m_1$ jatuh, penahan beban A akan menahan beban m_1 membiarkan beban M_1 melewatinya dan sensor 2 mendeteksi jatuhnya beban M_1 . Saat beban M_1 jatuh melewati titik B, sensor 3 akan mendeteksi beban tersebut dan memberhentikan pengukuran. Setelah melakukan perancangan sistem alat ukur waktu tempuh otomatis, selanjutnya adalah pembuatan sistem alat ukur waktu otomatis pada Atwood. Berikut gambar 3.5 pesawat Atwood serta letak sistem alat ukur waktu yang telah dibuat.



Gambar 3.5 Sistem Alat Ukur Waktu Otomatis untuk Pesawat Atwood

Dari gambar 3.5 terlihat susunan sistem alat yang telah dibuat. Sistem mikrokontroler pada gambar 3.5 awalnya dibuat untuk bisa memasukkan variabel jarak titik tempuh menggunakan *keypad* 4x4 sehingga nantinya nilai percepatan beban jatuh dapat ditampilkan langsung pada LCD. Namun akhirnya *keypad* 4x4 diganti dengan modul LCD *Shield* yang sudah tersedia tombol-tombol kecil untuk memudahkan pergantian mode sistem alat dan penggunaannya lebih praktis. Alasan mengapa *keypad* tersebut diganti akan dijelaskan pada perbandingan pengolahan data statistik dan grafik di Bab VI.

Rangkaian sistem alat yang dibuat secara keseluruhan dapat dilihat dalam gambar 3.6 berikut ini.

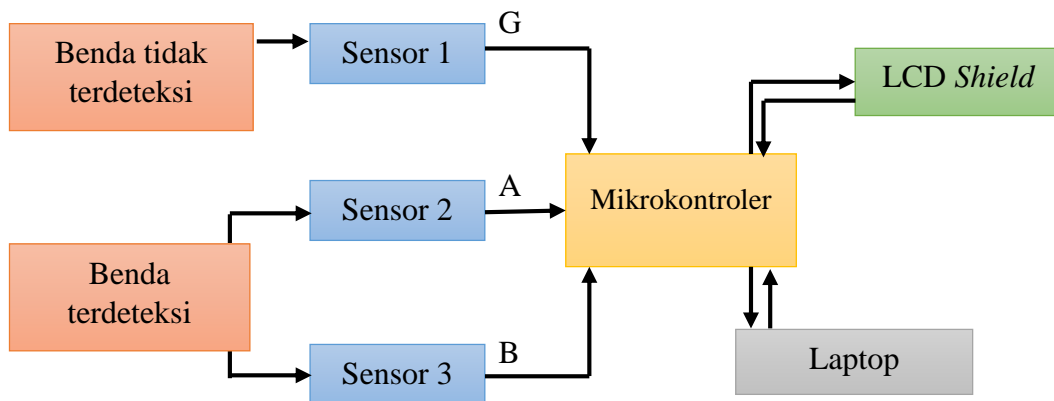


Gambar 3.6 Rangkaian Sistem Alat Ukur Waktu

Dalam gambar 3.6, mikrokontroler Arduino di bagian atasnya dipasang modul LCD *Shield*. Pada modul LCD *Shield*, pin-pin tampilan LCD beserta tombol-tombol kecilnya sudah tidak perlu dipasang secara manual satu per satu karena perangkat tersebut sudah didesain sedemikian rupa untuk di pasang ke Arduino Uno secara langsung. Pin A0 pada LCD *Shield* di gambar 3.6 digunakan untuk *input* tombol-tombol LCD.

3.4.3. Diagram Blok Sistem Alat

Sistem alat ukur waktu tempuh otomatis pada pesawat Atwood terdiri dari beberapa bagian yang saling berhubungan. Untuk memahami bagian-bagian tersebut dibuatlah diagram blok yang ditunjukkan pada gambar 3.7 sebagai berikut.



Gambar 3.7 Diagram Blok Sistem Alat Ukur Waktu

Dari gambar 3.7, diagram blok tersebut menjelaskan hubungan bagian-bagian sistem alat ukur waktu yang dibangun. Dalam diagram blok, hanya sensor 1 saja yang aktif saat benda tidak terdeteksi karena fungsi sensor 1 adalah mendeteksi tidak adanya beban M_2 saat tertarik ke atas oleh jatuhnya beban $M_1 + m$. Sebelumnya sudah dijelaskan jika sistem alat ini menggunakan mode 1 dan 2. Pada mode 1, hanya sensor 1 dan 2 yang aktif. Sedangkan pada mode 2, hanya sensor 2 dan 3 yang aktif. Selanjutnya pada *LCD Shield* terdapat 6 tombol kecil, diantaranya adalah tombol *select*, *left*, *right*, *up*, *down*, dan *rst* (reset). Dalam sistem alat yang dibangun, tombol-tombol yang digunakan hanya ada 3 tombol. Tombol-tombol tersebut adalah tombol *left* yang digunakan untuk mode 1, tombol *right* yang digunakan untuk mode 2, dan tombol *rst* yang digunakan untuk set ulang sistem alat.

3.4.4. Perancangan dan Pembuatan Program

Setelah melakukan pembuatan sistem alat, selanjutnya adalah perancangan dan pembuatan program menggunakan Arduino IDE. Namun sebelum itu, pembuatan program pengujian sistem sensor perlu dilakukan. Program pengujian ini berfungsi untuk mengetahui respon sensor jika pandangannya terhalang oleh suatu objek.

Program pengujian sensor digunakan untuk satu sensor saja, jadi tidak bisa digunakan bersamaan. Dengan begitu, pengujian sensor dilakukan satu per satu atau secara bergantian. Berikut program pengujian sistem sensor ditunjukkan pada gambar 3.8.

```
test_rpr220

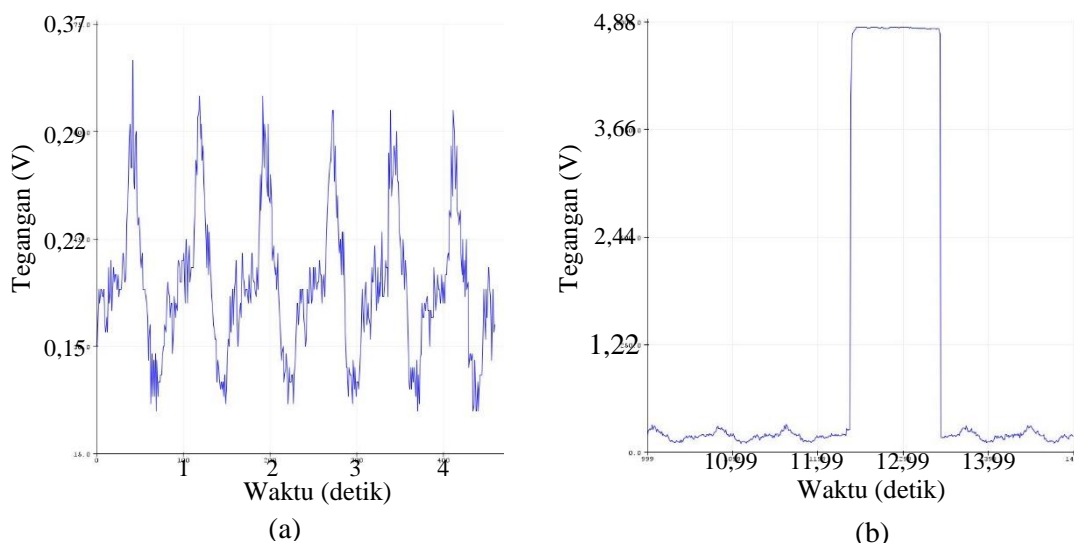
int pin1 = A1;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  int A;
  A = analogRead(pin1);
  Serial.println(A);
  delay (100);
}
```

Gambar 3.8 Program pengujian sistem sensor

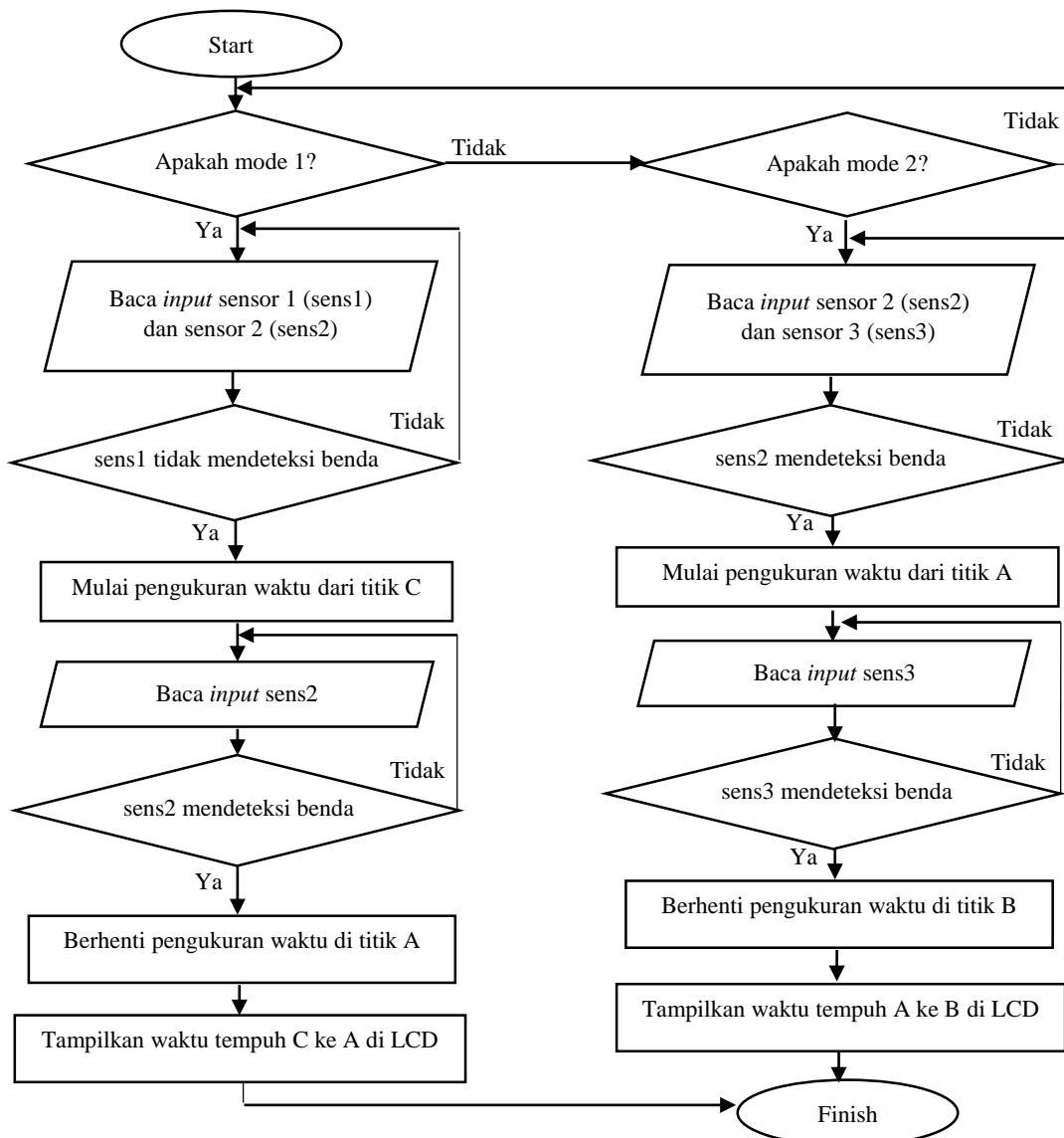
Data keluaran yang dihasilkan dari program tersebut adalah data keluaran ADC (*Analog to Digital Converter*). ADC berfungsi sebagai pengubah nilai analog menjadi representasi digital karena sistem komputer mempunyai memori dan daya pemrosesan terbatas sehingga tidak bisa mengukur jumlah desimal yang nilai analognya tak terhingga. ADC merepresentasikan nilai tegangan masukan dari 0-5 V menjadi nilai 10-bit ADC dari 0-1023 khusus untuk Arduino Uno (Blum, 2019). Berikut salah satu hasil dari pengujian sistem sensor menggunakan program setelah keluaran ADC berubah menjadi tegangan dengan perumusan $v_{in} = (5 \text{ Volt}/1024) * ADC$ (Atmel, 2015) pada gambar 3.8.



Gambar 3.9 Grafik data keluaran sistem sensor 1 berdasarkan Arduino (a) benda tidak terdeteksi, (b) benda terdeteksi

Gambar 3.9 merupakan respon sistem sensor 1 terhadap pengambilan data tiap 0,01 detik. Dari gambar 3.9 (a), tegangan *input*-nya rata-rata dibawah 0,37 V saat tidak mendeteksi benda. Sedangkan pada gambar 3.9 (b), tegangan *input*-nya ada yang sampai mendekati 5 V saat benda terdeteksi. Dengan begitu, uji respon sistem sensor 1 dapat dikatakan berhasil dalam mendeteksi adanya benda.

Setelah semua sistem sensor diuji dan sudah layak digunakan, selanjutnya adalah membuat program sistem alat ukur waktu otomatis. Berikut diagram alir program yang dibuat dalam penelitian ditunjukkan pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Diagram Alir Program

Jalannya program sistem alat yang dibuat dapat dilihat pada gambar 3.10. Mulanya pengguna akan memilih mode apa yang diinginkan melewati tombol-tombol LCD *Shield*. Sebelumnya sudah dijelaskan bahwa tombol *left* digunakan untuk mode 1 dan tombol *right* digunakan untuk mode 2. Tombol *rst* sudah didesain untuk mengaktifkan tombol reset pada Arduino sehingga tidak perlu dibuat programnya. Untuk lebih memahami model sistem alat ukur pada mode 1 dan 2 dapat dilihat pada gambar 3.4.

Misalkan jika mode yang dipilih adalah mode 1, maka sensor yang aktif adalah sensor 1 dan 2. Sensor 1 bisa disingkat menjadi sens1 dan sensor 2 bisa disingkat menjadi sens2. Dalam pengaktifan mode 1, beban M_2 harus berada tepat di depan sensor 1 karena jika tidak, pengukuran waktu akan langsung mulai secara tiba-tiba. Hal ini dikarenakan sensor 1 akan memberi sinyal pada mikrokontroler untuk memulai pengukuran saat benda tidak terdeteksi atau saat tegangan *input* kurang dari 0,37 V (lihat gambar 3.9 untuk memahami respon sensor 1). Jika pelepasan beban M_2 dan jatuhnya beban M_1+m dimulai dengan aba-aba, maka pengukuran waktu tempuh beban dari titik C ke A dapat dilakukan. Saat beban M_2 meninggalkan penahan beban gantung titik G, maka sensor 1 akan mendeteksi hilangnya beban dan mengirim sinyal ke mikrokontroler untuk memulai pengukuran. Pengukuran akan berhenti jika beban M_1+m sudah mencapai penahan beban tambahan titik A atau saat sensor 2 mendeteksi adanya benda. Waktu tempuh yang dihasilkan akan ditampilkan pada LCD sehingga datanya bisa dicatat. Mode 2 juga berprinsip sama dengan mode 1. Namun yang membedakan, mode 2 hanya menggunakan sensor 2 dan 3 dan keduanya akan aktif saat suatu benda melewatinya.

3.4.5. Pengambilan Data Eksperimen

Selanjutnya adalah pengambilan data eksperimen. Sebelum melakukan eksperimen, pengukuran besaran massa beban gantung, beban tambahan dan katrol perlu dilakukan untuk pengolahan data selanjutnya. Pengukuran dilakukan dengan neraca Ohaus. Berikut masing-masing besaran massa ditunjukkan pada tabel 3.4.

Tabel 3.4*Besaran massa beban gantung, beban tambahan dan katrol*

Nama	Massa (g)
Beban gantung M_1	187,1
Beban gantung M_2	192,3
Beban tambahan m_1	64,7
Beban tambahan m_2	61,3
Beban tambahan m_3	61,0
Beban tambahan m_4	60,5
Katrol	833,0

Setelah mengukur massa benda yang digunakan dalam penelitian, selanjutnya adalah melakukan eksperimen. Eksperimen dilakukan sesuai dengan 4 tahapan yang dijelaskan pada metode penelitian sebelumnya. Untuk melihat hasil data eksperimen yang telah dilakukan dapat dilihat di bab selanjutnya yaitu bab VI.